

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)



(12) **Offenlegungsschrift**
(10) **DE 43 20 137 A1**

(51) Int. Cl. 5:
G 04 C 11/04

DE 43 20 137 A1

(21) Aktenzeichen: P 43 20 137.7
(22) Anmeldetag: 17. 6. 93
(43) Offenlegungstag: 23. 12. 93

(30) Unionspriorität: (22) (33) (31)

19.06.92 US 901446

(71) Anmelder:

Westinghouse Electric Corp., Pittsburgh, Pa., US

(74) Vertreter:

Grünecker, A., Dipl.-Ing.; Kinkeldey, H., Dipl.-Ing.
Dr.-Ing.; Stockmair, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Ae.E. Cal
Tech; Schumann, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Jakob,
P., Dipl.-Ing.; Bezold, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;
Meister, W., Dipl.-Ing.; Hilgers, H., Dipl.-Ing.;
Meyer-Plath, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Ehnold, A.,
Dipl.-Ing.; Schuster, T., Dipl.-Phys.; Goldbach, K.,
Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Aufenanger, M., Dipl.-Ing.;
Klitzsch, G., Dipl.-Ing.; Vogelsang-Wenke, H.,
Dipl.-Chem. Dipl.-Biol.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte,
80538 München

(72) Erfinder:

Edblad, Warren Albert, New Kensington, Pa., US;
Crew, Albert William, Monroeville, Pa., US; Staab,
Carl Joseph, Murrysville, Pa., US

(54) Synchronisation von Tageszeituhren in einem verteilten Verarbeitungsnetzwerksystem

(57) Die Betriebssystemuhren in jeder Station eines gegenläufigen Ringnetzwerks eines verteilten Verarbeitungssystems werden synchronisiert durch Speichern des Zählerwerts eines freilaufenden Zählers in der Netzwerkschnittstelle jeder Station zu dem Zeitpunkt, zu dem eine von einer Zeitgeberstation gesandte Zeitnachricht erhalten wird. Die Zeitgeberstation berechnet dann aus ihrer Tageszeituhr des Betriebssystems und ihrem freilaufenden Zähler ihre Empfangszeit der Zeitnachricht und sendet diese Zeitgeber-Empfangszeit an die anderen Stationen. Jede der anderen Stationen berechnet ihre eigene Empfangszeit aus ihrer Betriebssystem-Tageszeit und dem Zählerwert ihres freilaufenden Zählers und verwendet die Differenz zwischen ihrer Empfangszeit und der Zeitgeber-Empfangszeit, um ihre Betriebssystem-Tageszeituhr zu korrigieren. Repeater- und Medienverzögerungen, die durch die dynamische Topographie des Netzwerks bestimmt werden, werden bei der Berechnung des Korrekturfaktors berücksichtigt. Der freilaufende Zähler kann auch zum Erreichen einer höher aufgelösten lokalen Tageszeit als sie von der Betriebssystem-Tageszeituhr verfügbar ist, verwendet werden.

DE 43 20 137 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10.93 308 051/506

17/46

Beschreibung

Diese Erfindung bezieht sich auf die Synchronisation von Tageszeituhren, die es in jeder Station eines verteilten Verarbeitungsnetzwerksystems gibt, und insbesondere auf ein solches System, in dem es beträchtliche Zeitverzögerungen gibt, die sich dynamisch ändern können. Die Erfindung bezieht sich weiterhin darauf, eine Tageszeituhr mit höherer Auflösung als in den Tageszeituhren verfügbar ist, die typischerweise in den Stationsprozessoren gefunden werden, zur Verfügung zu stellen.

In einem verteilten Verarbeitungssystem und insbesondere in einem verteilten Steuerungssystem ist eine der schwierigeren Aufgaben das Aufrechterhalten einer verteilten, synchronen Tageszeituhr. Die Uhr bildet den Zeitstandard, der in allen Stationen erforderlich ist, um das Planen von verteilten Aufgaben zu erlauben und das Auftreten verschiedener Ereignisse (für Ereignisfolgen, die in dem Netzwerk ablaufen) zu markieren. Die Steuerungsbedingungen in einem typischen, heutigen Steuerungssystem erfordern, daß die Abweichung zwischen zwei Stationen im schlimmsten Fall geringer als 200 Mikrosekunden sind. Daher muß die Auflösung jeder Uhr 100 Mikrosekunden sein, und die Genauigkeit jeder Uhr muß plus/minus 100 Mikrosekunden sein.

Die einfachste Lösung ist, eine Station zu haben, die periodisch eine Nachricht überträgt, die die korrekte Tageszeit enthält. Bei Erhalt der Nachricht würden alle Stationen ihre Uhren auf den in der Nachricht spezifizierten Wert einstellen. Unglücklicherweise gibt es viele beträchtliche und variable Verzögerungen zwischen der Zeit, wenn die Nachricht erzeugt wird, und der Zeit, wenn die Uhren in den entfernten Stationen eingestellt werden. Diese Verzögerungen umfassen: die Verarbeitungszeit in dem sendenden Computer, Warteschlangenverzögerungen für die Übertragung, die Verarbeitungszeit in der Quellennetzwerkschnittstelle, Verzögerungen für den Zugriff auf die Medien, die Übertragungszeit, Medienübertragungsverzögerungen, Stationsrepeaterverzögerungen, die Verarbeitungszeit in der Bestimmungsnetzwerkschnittstelle, Warteschlangenverzögerungen im Bestimmungscomputer und Softwareverarbeitungsverzögerungen. Diese Verzögerungen und ihre Veränderlichkeit verhindern eine Synchronisation mit der gewünschten Genauigkeit.

Die obige Analyse setzt die Verwendung einer Tageszeituhr voraus, die durch das Betriebssystem in einem Prozessor in jeder Station aufrecht erhalten wird. Die Effekte vieler der beschriebenen Verzögerungen können durch Hinzufügen spezieller Hardware zu den Netzwerkschnittstellen sowohl bei den Sende- als auch bei den Empfangsstationen beseitigt werden. Insbesondere würde die Hardware der Sendestation die lokale Tageszeituhr im Augenblick des Sendens lesen und den Wert in die Nachricht einsetzen. Dies würde den Fehler beseitigen, der durch die folgenden Verzögerungen verursacht wird: die Verarbeitungszeit in dem Sendecomputer, Warteschlangenverzögerungen für das Warten auf die Sendung, die Verarbeitungszeit in der Quellennetzwerkschnittstelle und die Verzögerungen für das Warten auf den Zugriff auf die Medien. Die Hardware in der Empfangsstation würde die Zeinachricht feststellen, die Tageszeit extrahieren und die lokale Tageszeit einstellen. Dies würde den durch folgendes erzeugten Fehler beseitigen: die Verarbeitungszeit in der Bestimmungsnetzwerkschnittstelle, Warteschlangenverzögerungen im Bestimmungscomputer und Softwareverar-

beitungsverzögerungen. Die einzige verbleibenden Fehler sind mit der Übertragungszeit, den Medienübertragungsverzögerungen und den Stationsrepeaterverzögerungen verbunden. Unglücklicherweise ist die spezielle Hardware zum Durchführen der obigen Funktionen ziemlich komplex. Da jede Station in der Lage sein muß, die Zeitgeberfunktion durchzuführen, müßten alle Stationen die beiden speziellen Hardwareteile haben.

Das US-Patent 4 815 110 schlägt ein anderes System zur Synchronisation von Tageszeituhren in einem verteilten Verarbeitungssystem vor. Der Zeitsynchronisationsprozeß ist in zwei Phasen unterteilt. Während der ersten Phase überträgt die Zeitgeberstation eine spezielle Nachricht auf das Netzwerk. Zu dem Zeitpunkt, zu dem die Nachricht empfangen wird, hält die Hardware in jeder Station (also speichert) den Wert ihrer lokalen Tageszeituhr. Während der zweiten Phase überträgt die Zeitgeberstation eine Nachricht, die den Wert ihrer Tageszeituhr enthält, der gespeichert wurde, als sie ihre eigene Nachricht während der Phase Eins erhielt. Wenn die Tageszeit des Zeitgebers von jeder anderen Station empfangen worden ist, wird der empfangene Wert von dem gespeicherten Wert subtrahiert. Der resultierende Wert stellt die Differenz zwischen der lokalen Uhr und der Uhr der Zeitgeberstation dar. Die für diesen Prozeß erforderliche Hardware ist viel einfacher als die oben diskutierte, und der Übertragungszeitfehler wird eliminiert. Die erforderliche Hardware umfaßt nur einen Hardwarezähler, der zum Darstellen der lokalen Tageszeit erforderlich ist, und Schaltkreise zum Erkennen der Zeitnachricht während der Phase Eins. Jedoch muß der Zähler folgende Operationen unterstützen: Lesen, Setzen und Speichern. Zusätzlich muß der Wert in dem Zähler die absolute Zeit darstellen.

In einem ähnlichen, von dem Rechtsnachfolger der vorliegenden Erfindung entwickelten System sendet eine einzige Masterstation die spezielle Zeitnachricht in Phase Eins an alle Stationen, und in Phase Zwei senden drei Stationen, die Masterstation und zwei zusätzliche Stationen, die Zeiten, zu denen sie die spezielle Zeitnachricht erhalten haben, an alle Stationen. Jede Station bildet dann den Mittelwert der beiden am dichtesten liegenden, empfangenen Tageszeitsignale und führt die Korrektur mit diesem Mittelwert durch.

In einigen Netzwerken, wie etwa dem gegenläufigen FDDI-(Faserverteilungs-Datenschnittstelle) Ringnetzwerk, werden Nachrichten durch Repeater in den Netzwerkschnittstellen jeder Station in dem Ring von Station zu Station übertragen. Diese Repeaterfunktion führt zu einer Zeitverzögerung von zum Beispiel 750 Nanosekunden. Zusätzlich führt das Kommunikationsmedium, das die Stationen verbindet, zu zusätzlichen Verzögerungen. Weiterhin kann das FDDI-Netzwerk die Netzwerktopographie durch Auswahl von Faserabschnitten im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn zwischen den Stationen umgestalten, um Ausfälle zu kompensieren. Diese Änderungen in der Topographie beeinflussen die von einer oder mehreren Stationen in dem Netzwerk erfahrene Verzögerung.

Ein weiteres Problem ist, daß viele der heutigen Arbeitsstationen Betriebssystem-Tageszeituhren besitzen, die nicht die Auflösung besitzen, die erforderlich ist, um die Anforderungen von verteilten Verarbeitungssystemanwendungen zu erfüllen.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte Vorrichtung zur Synchronisation von Stations-Tageszeituhren in einem verteilten Verarbeitungssystem zur Verfügung zu stellen.

Es ist eine weitere Aufgabe der Erfindung, diese Hauptaufgabe mit einem Minimum an spezialisierter Hardware zu lösen.

Es ist eine zusätzliche Aufgabe der Erfindung, die vorstehenden Aufgaben unter Verwendung der Betriebssystem-Tageszeituhr jeder Station zu lösen und dies auch dann zu tun, wenn die Betriebssystem-Tageszeituhr nicht die von dem Netzwerksystem geforderte Auslösung besitzt.

Es ist auch eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine solche verbesserte Vorrichtung zur Synchronisation von Tageszeituhren zur Verfügung zu stellen, die Netzwerkverzögerungen und dynamische Änderungen in den Netzwerkverzögerungen, wie sie bei Änderungen in der Netzwerktopographie auftreten, berücksichtigen.

Diese und weitere Aufgaben werden durch die in den beigefügten Patentansprüchen definierte Erfindung gelöst, die auf ein verteiltes Verarbeitungssystem gerichtet ist mit Vorrichtungen zur Synchronisation der Stations-Tageszeituhren, welche in jeder Station einen freilaufenden Zähler in der Netzwerkschnittstelle umfassen, welcher eine Zählung von Zeitintervallen durchführt. Sie umfaßt außerdem Vorrichtungen innerhalb einer festgelegten Zeitgeberstation, die periodisch ein Zeitgeber-Signal erzeugen, das über das Datenkommunikationsnetzwerk an alle Stationen einschließlich der Zeitgeberstation gesandt wird. Vorrichtungen in jeder Netzwerkschnittstelle halten den Zählwert des freilaufenden Zählers bei Erhalt des Zeitgeber-Signals fest. Die Zeitgeberstation umfaßt außerdem Vorrichtungen zum Senden des Zeitgeber-Tageszeitsignals, das die Tageszeit zu dem Zeitpunkt darstellt, an dem die Zeitgeberstation das Zeitgeber-Signal empfangen hat, an alle Stationen. Jede der anderen Stationen umfaßt Vorrichtungen zum Feststellen einer Stations-Referenztageszeit aus dem festgehaltenen Zählwert, dem Zählwert in dem freilaufenden Zähler und der Tageszeit in der Tageszeituhr des Betriebssystems zum Zeitpunkt des Erhalts des Tageszeitsignals des Zeitgebers. Jede Station umfaßt weiterhin Vorrichtungen zum Bestimmen der Differenz zwischen der Stations-Referenztageszeit und der empfangenen Tageszeit des Zeitgebers und zum Einstellen der Tageszeituhr in dem Betriebssystem auf der Basis dieser Differenz.

Zusätzliche Stationen sind so ausgerüstet, daß sie Zeitgeberstationen sind und nehmen die Zeitgeberfunktion sequentiell an, wenn sie das Zeitgeber-Signal nicht innerhalb eines jeweiligen, vorgegebenen Intervalls empfangen.

Jede der Stationen berücksichtigt bei der Berechnung der Stations-Referenzzeit Verzögerungen, die sowohl von der Repeaterfunktion der Netzwerkschnittstellen und den Kommunikationsmedienverzögerungen erzeugt werden. Diese Berechnungen berücksichtigen auch Änderungen in den kumulativen Verzögerungen, die aus Änderungen in der Netzwerktopographie hervorruhen.

Die Erfindung stellt außerdem eine verbesserte Lösung in dem Tageszeit-Zeitwert einer Station zur Verfügung, wenn die Tageszeituhr des Betriebssystems der Station nicht die von der Anwendung erforderliche Auflösung besitzt. Die Tageszeituhren des Betriebssystems der Stationen besitzen einen Softwarezähler, der durch einen Zeitinterrupt indexiert ist.

Entsprechend der Erfindung multipliziert die Lesevorrichtung der augenblicklichen Zeit die Tageszeit in diesem Softwarezähler mit dem Verhältnis der Auflösung

sung des freilaufenden Zählers in der Netzwerkschnittstelle zur Softwarezählerauflösung zum Erzeugen eines hochauflösten Produkts. Die Änderung im Zählwert in dem freilaufenden Zähler, die seit dem letzten Zeitinterrupt erzeugt wurde, wird zu diesem Produkt addiert, um die hochauflöste, augenblickliche Tageszeit zu erhalten. In einem Ausführungsbeispiel dieses Gesichtspunkts der Erfindung besitzt der freilaufende Zähler einen Modulus gleich einer Zeiteinheit in dem Softwarezähler, und der Zeitinterrupt wird jedesmal erzeugt, wenn der freilaufende Zähler überläuft, so daß die Änderung in dem Zählwert in dem freilaufenden Zähler seit dem letzten Interrupt nur der augenblickliche Zählwert ist.

15 Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verteiltes Netzwerksystem zur Verfügung zu stellen, das allen Uhren in dem Netzwerk ermöglicht, sich selbst zu synchronisieren.

Im Hinblick auf die obige Aufgabe liegt die vorliegende Erfindung in einem verteilten Verarbeitungssystem mit einer Mehrzahl von Stationen, die jeweils einen Stationsprozessor mit einem Betriebssystem, das eine Stations-Tageszeituhr aufweist, und eine Netzwerkschnittstelle besitzen; einem Datenkommunikationsnetzwerk, das die Mehrzahl von Stationen über die Netzwerkschnittstellen verbindet; und Synchronisationsvorrichtungen zum Synchronisieren der Stations-Tageszeituhren in den Stationsprozessoren; wobei die Synchronisationsvorrichtungen gekennzeichnet sind durch einen freilaufenden Zähler in jeder der Netzwerkschnittstellen, die eine Zählung von Zeitintervallen durchführen; durch Festhaltevorrichtungen in jeder der Netzwerkschnittstellen zum Speichern des Zählwerts; durch Vorrichtungen innerhalb einer vorgegebenen Zeitgeberstation, die periodisch ein Zeitgeber-Signal erzeugen, das über das Datenkommunikationsnetzwerk an alle Stationen einschließlich der Zeitgeberstation gesandt wird; durch Vorrichtungen in jeder der Netzwerkschnittstellen, die den Zählwert des freilaufenden Zählers in der Festhaltevorrichtung bei Erhalt des Zeitgeber-Signals festhalten; durch Vorrichtungen in der Zeitgeberstation, die anschließend über das Datenkommunikationsnetzwerk an alle Stationen ein Zeitgeber-Tageszeitsignal senden, welches die Tageszeit der Zeitgeberstation angibt, wenn das Zeitgeber-Signal empfangen wurde; durch Vorrichtungen in den Stationen außer der Zeitgeberstation, die eine Stations-Referenztageszeit aus dem festgehaltenen Zählwert des freilaufenden Zählers, dem Zählwert des freilaufenden Zählers zum Zeitpunkt des Erhalts des Tageszeitsignals des Zeitgebers und der Tageszeit in der Betriebssystem-Tageszeituhr zum Zeitpunkt des Erhalts des Tageszeitsignals des Zeitgebers bestimmen; und durch Vorrichtungen in jeder Station, die die Differenz zwischen der Stations-Referenztageszeit und der empfangenen Zeitgeber-Tageszeit bestimmen und die Tageszeituhr in dem Betriebssystem auf der Basis der Differenz einstellen.

Ein volles Verständnis der Erfindung kann aus der nachfolgenden Beschreibung in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen gewonnen werden.

Fig. 1 ist ein schematisches Diagramm des verteilten Verarbeitungssystems, das die Erfindung umfaßt.

Fig. 2 ist ein schematisches Diagramm einer der Mehrzahl von Stationen, die einen Teil des Systems der Fig. 1 bilden.

Die Fig. 3-7 sind Flußdiagramme von geeigneten Computerprogrammen, die die Erfindung in dem verteilten Verarbeitungsnetzwerksystem der Fig. 1 und 2

implementieren.

Die Erfindung wird beschrieben in einer Anwendung in einem verteilten Datenverarbeitungsnetzwerksystem, das als ein FDDI- (verteiltes Faser-Datenaustausch-) Netzwerk implementiert ist, auch wenn für den Fachmann klar ist, daß die Erfindung auch in solchen Systemen angewendet werden kann, die als andere Netzwerktypen implementiert sind.

Fig. 1 zeigt ein verteiltes Verarbeitungsnetzwerksystem 1 mit einer Mehrzahl von Stationen 3a-d. Die vier Stationen des Systems 1 sind nur exemplarisch, und eine beliebige Anzahl von Stationen kann in dem System 1 umfaßt sein. Die Stationen 3a-d sind über ein Netzwerk 5 in einer doppelten Ringkonfiguration verbunden, wobei ein Ring 7 Nachrichten in Richtung gegen den Uhrzeigersinn und ein zweiter Ring 9 Nachrichten in Richtung des Uhrzeigersinns überträgt. In der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der FDDI-Netzwerkstandard verwendet. In einem solchen Netzwerk umfassen die beiden Ringe 7 und 9 optische Fasern als Kommunikationsmedien. In anderen Netzwerken könnten Koaxialkabel oder eine verdrillte Doppelleitung als Kommunikationsmedia verwendet werden. Das FDDI-Netzwerk besitzt eine offene Netzwerkarchitektur. Das FDDI-Netzwerk umfaßt einen Stationsmanagementstandard, der unter anderem die Konfiguration des Netzwerks kontrolliert. Unter normalen Bedingungen wird, wenn die Station 3 eine Nachricht sendet, die Nachricht von einem der Ringe zu jeder Station der Reihe nach transportiert, die dann die Nachricht für die nächste Station wiederholt. Wenn also der innere Ring 7 verwendet wird und die Station 3a eine Nachricht sendet, erhält die Station 3d die Nachricht und wiederholt sie für Station 3c, die ihrerseits die Nachricht für Station 3b wiederholt. Wenn Station 3a von dem System entfernt wird oder ein Fehler in dem Ring auftritt, wie bei 11 in Fig. 1 gezeigt, rekonfiguriert das Stationsmanagement das Netzwerk, um sicherzustellen, daß alle verbliebenen, aktiven Stationen gesendete Nachrichten empfangen. Also wird mit der Unterbrechung in dem Ring bei 11, wenn die von der Station 3a herrührende Nachricht die Station 3c erreicht, die Übertragung auf dem äußeren Ring über die Stationen 3d und 3a zur Station 3b zurückgeführt.

Die durch jede der Stationen beim Weiterleiten von empfangenen Nachrichten durchgeführte Wiederholungsfunktion erfordert eine endliche Zeit, zum Beispiel 750 Nanosekunden in dem exemplarischen System. Zusätzlich werden Verzögerungen eingeführt durch die Kommunikationsmedien, die die Ringe 7 und 9 bilden. Bei optischen Fasermedien beträgt diese Verzögerung typischerweise 5 bis 6 Mikrosekunden pro Kilometer. In einem verteilten Verarbeitungssystem, das sich über einige Kilometer erstreckt, können die addierten Verzögerungen beträchtlich sein, insbesondere in dem oben dargestellten Fall, bei dem die Nachricht über Stationen zurückgeführt wird, die die Nachricht zweimal wiederholen.

Die Stationen 3 in einem verteilten Steuerungssystem können verteilte Verarbeitungseinheiten und Arbeitsstationen 13 umfassen, die durch eine Netzwerkschnittstelle 15, wie in Fig. 2 gezeigt, mit den Ringen 7 und 9 des Netzwerks 5 verbunden sind. Die verteilten Verarbeitungseinheiten und die Arbeitsstationen 13 umfassen alle einen Mikroprozessor 17. Die verteilten Verarbeitungsstationen führen die Steuerungsfunktionen des Systems 1 durch. Typischerweise umfaßt dies die Regulierung einer speziellen Systemvariablen auf einen einge-

stellten Punktwert. Die Arbeitsstationen dienen als Mensch-Maschine-Schnittstellen, durch die ein Operator das verteilte Verarbeitungssystem 1 bedient und überwacht. Die Koordination der Funktionen der verschiedenen Stationen des Systems 1 erfordert den Austausch von Echtzeitdaten. Der FDDI-Standard erlaubt synchrone und asynchrone Modi für die Übertragung von Daten. Der synchrone Modus wird zur Übertragung der Echtzeitdaten durch die periodische Wiederholung der augenblicklichen Werte von verschiedenen Parametern in dem System verwendet. Wie zuvor erwähnt, erfordert dies die Synchronisierung der Tageszeituhren, die sich in den Prozessoren 17 in jeder Station befinden. Die Steuerungsbedingungen in einem typischen, heutigen Steuerungssystem erfordern im schlechtesten Fall eine Abweichung von weniger als 200 Mikrosekunden zwischen den Stationsuhren.

Die vorliegende Erfindung erreicht die Synchronisation zwischen den Stationsuhren mit der erforderlichen Genauigkeit, indem in jeder Netzwerkschnittstelle ein freilaufender Zähler 19 mit einem Speicher 21 zur Verfügung gestellt wird. Der freilaufende Zähler stellt nicht die absolute Zeit dar und muß daher niemals zurückgesetzt werden. Der Zähler sollte tief genug sein, so daß er nicht zu oft überläuft, und die Software muß in der Lage sein, solche Überläufe zu handhaben.

Entsprechend der Erfindung ist eine der Stationen als Zeitgeberstation ausgezeichnet. Diese Station überträgt periodisch ein Zeitgebersignal über das Netzwerk 5 zu jeder der anderen Stationen. Zu dem Zeitpunkt, an dem dieses Zeitgebersignal empfangen wird, wird der Zählerwert des freilaufenden Zählers 19 in dem Speicher 21 gespeichert. Die Zeitgeberstation sendet dann eine Zeitgeber-Tageszeitnachricht, die die Tageszeit des Zeitpunkts darstellt, an dem sie die Zeitgebernachricht erhalten hat. Dieser Zeitgeber-Tageszeitwert muß berechnet werden, da der freilaufende Zähler nicht die absolute Zeit darstellt. Dies wird durchgeführt durch Lesen der Tageszeituhr des Betriebssystems in dem Prozessor 17 und des freilaufenden Zählers 19. Typischerweise besitzt der Prozessor 17 einen Interruptgenerator 18, der periodisch Interrupts erzeugt, die verwendet werden, um die Tageszeituhr des Betriebssystems zu inkrementieren. Die Differenz zwischen dem augenblicklichen Wert des freilaufenden Zählers 19 und dem in dem Speicher 21 zum Zeitpunkt des Empfangs des Zeitgebersignals gespeicherten Wert wird mit der Periode der Zählerwerte, die von dem freilaufenden Zähler aufgezeichnet werden, multipliziert. Der resultierende Wert ist der Zeitbetrag, der verstrichen ist, seit das Zeitgebersignal von der Zeitgeberstation empfangen worden ist. Das Ergebnis ist die Tageszeit zu dem Augenblick, in dem das Zeitgebersignal von der Zeitgeberstation empfangen wurde. Dieser Wert wird in die Tageszeitnachricht des Zeitgebers eingefügt und über das Netzwerk 5 an die anderen Stationen gesendet.

Wenn das Tageszeitsignal des Zeitgebers von den anderen Stationen 3 empfangen wird, berechnen die Stationen zunächst einen Referenzwert für ihre Tageszeituhren. Sie benutzen dieselbe Berechnung wie die Zeitgeberstation zuvor. Die empfangene Zeitgebertageszeit wird dann von der berechneten Stations-Referenztageszeit subtrahiert. Der resultierende Wert stellt die Differenz zwischen der lokalen Uhr und der Uhr der Zeitgeberstation dar und wird zur Korrektur der lokalen Tageszeituhr verwendet. Diese Korrektur kann durch Einstellen der Betriebssystemuhr, durch schrittweises Einstellen derselben oder durch Speichern des lokalen Kor-

rekturterms, der zu dem lokalen Zeitwert addiert oder von diesem subtrahiert wird, wenn ein genauer Wert erforderlich ist, durchgeführt werden.

Die bis hierhin beschriebene Synchronisationsprozedur berücksichtigt keine Verzögerungen durch das Weiterreichen des Zeitgebersignals in dem Netzwerk. Der Betrag des resultierenden Fehlers hängt von der Art des verwendeten Netzwerkes ab. Wie oben diskutiert, sind in einem Ringnetzwerk, wie in dem beispielhaften FDDI-Netzwerk, die beiden Hauptbeiträge zu der Verzögerung die Stationsverzögerung bei der Wiederholung der Nachricht in jedem Knoten (bis zu 750 Nanosekunden pro Station) und die Signalausbreitungsverzögerung in den Medien (ungefähr 5 Mikrosekunden pro Kilometern für optische Fasern). Die Software, die die Zeitsynchronisationsfunktion durchführt, muß den von der Zeitgeberstation empfangenen Zeitwert korrigieren, um die Übertragungsverzögerung zwischen der lokalen Station und der Zeitgeberstation zu kompensieren. Diese Kompensation basiert auf den bekannten Kabelängen und der augenblicklichen Netzwerkkonfiguration. Die Zeitsynchronisation muß zeitweilig unterbrochen werden, wenn sich das Netzwerk rekonfiguriert. Die Zeitsynchronisation wird wieder aufgenommen, wenn die Topologie des Netzwerkes festgelegt worden ist. Wie oben erwähnt, bestimmt das Stationsmanagement des FDDI-Netzwerkes die augenblickliche Topologie des Netzwerkes.

Wenn die Zeitgeberstation versagt oder von dem Netzwerk entfernt wird, muß eine andere Station die Funktion übernehmen. Dies wird erreicht, indem jeder Station ein eindeutiges Zeitintervall zugewiesen wird. Wenn die Station das Zeitgebersignal nicht innerhalb dieses Zeitintervalls empfängt, wird sie die Zeitgeberstation und überträgt das Zeitgebersignal. Die verschiedenen Stationen nehmen die Zeitgeberfunktion sequentiell basierend auf den zugewiesenen, eindeutigen Zeitgeberintervallen an.

Die Fig. 3-5 zeigen Flußdiagramme für drei Routinen, die die Synchronisation der Tageszeituhren des Netzwerks unter Verwendung des freilaufenden Zählers implementieren. Fig. 3 zeigt das Flußdiagramm für eine TX_CLOCK_MESSAGE-Routine, die von der Zeitgeberstation verwendet wird, um das Zeitgebersignal periodisch zu senden. Die Routine 23 beginnt mit dem Einstellen eines Aufweckalarms für das nächste Intervall bei 25. Sie erzeugt dann bei 27 eine Zeitnachricht, die das Zeitgebersignal umfaßt, wie oben diskutiert. Die Nachricht wird dann bei 29 in eine Übertragungsschlange eingereiht, und dann wartet die Routine bei 31 auf den nächsten Alarm.

Fig. 4 zeigt eine RX_CLOCK_MESSAGE-Routine, die bei Empfang des Zeitgebersignals abläuft. Während es zu einem gegebenen Zeitpunkt nur eine Zeitgeberstation gibt, wird die Routine von allen Stationen durchgeführt, da jede Station die Zeitgeberfunktion annehmen kann. Die Routine beginnt bei 35 mit der Feststellung, ob die Station die augenblickliche Zeitgeberstation ist. Falls nicht, wird die Routine bei 37 beendet. Wenn es sich um die Zeitgeberstation handelt, liest sie bei 29 den augenblicklichen Zählwert des freilaufenden Zählers, die augenblickliche Zeit der Tageszeituhr des Betriebssystems des Stationsprozessors und den in dem Speicher 21 gespeicherten Zählwert ein.

Wenn der augenblickliche Zählwert in dem freilaufenden Zähler größer ist als der gespeicherte Zählwert, wird die Empfangszeit des Zeitgebersignals durch Subtraktion der Differenz zwischen dem augenblicklichen

Zählwert in dem freilaufenden Zähler und dem gespeicherten Zählwert multipliziert mit der Periode des freilaufenden Zählers von der augenblicklichen Tageszeit in der Tageszeituhr berechnet. Wenn jedoch der augenblickliche Zählwert in dem freilaufenden Zähler kleiner als der gespeicherte Wert ist, was anzeigt, daß der Zähler übergelaufen ist, wird die Empfangszeit bei 41 durch Subtraktion des gespeicherten Zählwerts von dem maximalen Zählwert des freilaufenden Zählers und durch Multiplikation mit der Periode des freilaufenden Zählers berechnet. Der resultierte Wert wird dann von dem Tageszeitwert des augenblicklichen Betriebssystems subtrahiert. Die Zeitgeberstation erzeugt dann bei 43 eine Zeitgeber-Tageszeitnachricht, die das Zeitgeber-Tageszeitignal enthält. Diese Tageszeitnachricht wird bei 45 in eine Sendeschlange eingereiht, und das Alarmintervall für die Routine wird bei 47 zurückgesetzt, bevor die Routine bei 49 beendet wird.

Fig. 5 zeigt eine RX_TIME_OF_DAY-Routine, die von jeder Station bei Erhalt der Tageszeitnachricht, die die Tageszeit des Zeitgebers enthält, durchgeführt wird. Die Routine beginnt bei 53 mit dem Lesen der augenblicklichen Werte des freilaufenden Zählers und der Tageszeit des Betriebssystems und auch des gespeicherten Zählwerts. Dann wird bei 55 unter Verwendung derselben Berechnungen wie in Block 43 der in Fig. 4 gezeigten Routine eine Empfangszeit berechnet. Die Netzwerkverzögerung von dieser Station zur Zeitgeberstation wird dann bei 57 basierend auf der Netzwerktopologie berechnet. Das heißt, das die Repeaterverzögerung für jede der Zwischenstationen zur Gesamtverzögerung für die Länge der Kommunikationsmedien zwischen der Zeitgeberstation und der lokalen Station für den von der Nachricht genommenen Weg addiert wird. Dann wird bei 59 eine Einstellung berechnet, indem zunächst die Netzwerksverzögerung von der Zeitgeberzeit subtrahiert wird und dann die in 55 berechnete Empfangszeit subtrahiert wird. Diese Einstellung wird dann bei 61 verwendet, um die lokale Tageszeituhr einzustellen, bevor die Routine bei 63 beendet wird.

Typische Betriebssystemuhren besitzen eine Auflösung von ± 10 Millisekunden. Wie oben diskutiert, ist das für die meisten Zeitsynchronisationsanforderungen nicht angemessen. Entsprechend einem weiteren Gesichtspunkt der Erfindung ist der freilaufende Zähler 19 in der Netzwerkschnittstelle einer Station mit dem Betriebssystemuhr in dem Stationsprozessor verbunden, um eine hochauflösende Tageszeituhr zu bilden. Typischerweise verfolgt das Betriebssystem in den Prozessoren 17 die Tageszeit mittels eines periodischen Interrupts. Dieser Interrupt wird von der Hardware erzeugt. Wenn dieser Interrupt auftritt, inkrementiert das Betriebssystem typischerweise einen Softwarezähler. Der Zähler mißt die seit einem festen Zeitpunkt verstrichene Zeit. Die mit dem Zähler verbundenen Einheiten entsprechen üblicherweise der Auflösung der Tageszeituhr, z. B. 10 Millisekunden. Entsprechend einem Ausführungsbeispiel dieses Gesichtspunkts der Erfindung ist der freilaufende Zähler 19 der Netzwerkschnittstelle so ausgeführt, daß er einen Modulus, also einen maximalen Zeitwert gleich der gewünschten Interruptrate besitzt. Der Überlauf des freilaufenden Zählers wird dann verwendet, um den Interrupt für die Tageszeituhr für das Betriebssystem zur Verfügung zu stellen. Eine hochauflösende Zählung, die die seit einem festen Zeitpunkt verstrichene Zeit angibt, wird dann durch Multiplikation des Zählwertes in dem Softwarezähler mit dem Verhältnis der Hardwareauflösung zur Softwareauflösung und

anschließender Addition des Wertes des freilaufenden Zählers berechnet. Dieser hochauflöste Tageszeitwert kann dann anstelle des Tageszeitwerts des Betriebssystems in den zuvor beschriebenen Synchronisationsprozeduren verwendet werden. Es sollte festgestellt werden, daß die Zeitkorrektur am ehesten durch Speichern eines Korrekturterms erreicht würde, da der freilaufende Zähler nicht einstellbar ist.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel dieses Gesichtspunkts der Erfindung erzeugt die Tageszeituhr des Betriebssystems die Zeitinterrupts wie üblich. Jedoch ist die Interruptserviceroutine so modifiziert, daß sie den Wert des freilaufenden Zählers zum Zeitpunkt des Tageszeitinterrupts liest und speichert. Die hochauflösende Zählung, die die verstrichene Zeit nach einem festen Zeitpunkt angibt, wird dann durch Multiplikation des Zahlwerts im Softwarezähler mit dem Verhältnis der Hardwareauflösung zur Softwareauflösung und anschließender Addition der Differenz zwischen dem augenblicklichen Wert des freilaufenden Zählers und dem zu dem Zeitpunkt des Auftretens des Tageszeitinterrupts gespeicherten Wert berechnet. Wie bei der Zeitsynchronisation oben beschrieben, muß die Differenzberechnung in der Lage sein, ein Überlaufen des Zählers zu bearbeiten.

Fig. 6 zeigt ein Flußdiagramm für ein Computerprogramm 5, das von den Prozessoren 17 in den Stationen 3 ausgeführt wird und das hochauflöste Tageszeitignal erzeugt. Bei ihrem Aufruf bei 67 liest die Routine bei 69 die Software-Tageszeituhr und den Zählwert des Zählers 69. Die hochauflöste Tageszeit wird dann bei 71 entsprechend der ersten Formel berechnet, wenn der Zähler 19 nicht übergelaufen ist, und wird entsprechend der zweiten Formel berechnet, wenn der Zähler übergegangen ist. Die Routine wird dann bei 73 beendet.

Fig. 7 zeigt ein Flußdiagramm für die von dem Prozessor 17 in Abhängigkeit von jedem Zeitinterrupt durchgeführte Routine 75. Die Routine speichert den Wert des freilaufenden Zählers 19 als das COUNT_AT_IRQ-Signal, das in der Routine 65 verwendet wird.

Während spezifische Ausführungsformen im Detail beschrieben wurden, ist für den Fachmann klar, daß verschiedene Modifikationen und Änderungen an diesen Details im Lichte der Gesamtlehre der Offenbarung durchgeführt werden können. Demzufolge sollen die speziellen offengelegten Anordnungen nur illustrativ und nicht für den Schutzmfang der Erfindung einschränkend sein. Dieser soll den beigefügten Patentansprüchen und allen Äquivalenten derselben entsprechen.

Patentansprüche

1. Verteiltes Verarbeitungssystem (1) mit:
einer Mehrzahl von Stationen (3), die jeweils einen Stationsprozessor (17) mit einem Betriebssystem, das eine Stations-Tageszeituhr aufweist, und eine Netzwerkschnittstelle (15) besitzen;
einem Datenkommunikationsnetzwerk (5), das die Mehrzahl von Stationen (3) über die Netzwerkschnittstellen (15) verbindet; und
Synchronisationsvorrichtungen zum Synchronisieren der Stations-Tageszeituhren in den Stationsprozessoren;
wobei die Synchronisationsvorrichtungen gekennzeichnet sind durch:
einen freilaufenden Zähler (19) in jeder der Netz-

werkschnittstellen, die ein Zählen von Zeitintervallen durchführen;

Festhaltevorrichtungen (21) in jeder der Netzwerkschnittstellen zum Speichern des Zählwerts;

Vorrichtungen (23) innerhalb einer vorgegebenen Zeitgeberstation, die periodisch ein Zeitgeberignal erzeugen, das über das Datenkommunikationsnetzwerk (5) an alle Stationen (3) einschließlich der Zeitgeberstation gesandt wird;

Vorrichtungen in jeder der Netzwerkschnittstellen (15), die den Zählwert des freilaufenden Zählers (19) in der Festhaltevorrichtung (21) bei Erhalt des Zeitgebersignals festhalten;

Vorrichtungen (39—45) in der Zeitgeberstation, die anschließend über das Datenkommunikationsnetzwerk an alle Stationen ein Zeitgeber-Tageszeitignal senden, welches die Tageszeit der Zeitgeberstation angibt, wenn das Zeitgeberignal empfangen wurde;

Vorrichtungen (53—57) in den Stationen außer der Zeitgeberstation, die eine Stations-Referenztageszeit aus dem festgehaltenen Zählwert des freilaufenden Zählers (19), dem Zählwert des freilaufenden Zählers zum Zeitpunkt des Erhalts des Tageszeitsignals des Zeitgebers und der Tageszeit in der Betriebssystem-Tageszeituhr zum Zeitpunkt des Erhalts des Tageszeitsignals des Zeitgebers bestimmen; und

durch Vorrichtungen (59—61) in jeder Station, die die Differenz zwischen der Stations-Referenztageszeit und der empfangenen Zeitgeber-Tageszeit bestimmen und die Tageszeituhr in dem Betriebssystem auf der Basis der Differenz einstellen.

2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitgeberstation Vorrichtungen (41) zum Erzeugen des Zeitgeber-Tageszeitsignals aus dem in den Festhaltevorrichtungen (21) ihrer Netzwerkschnittstelle (15) gespeicherten Zählwert bei Erhalt des Zeitgebersignals, einem augenblicklichen Zählwert des freilaufenden Zählers (19) und einer augenblicklichen Tageszeit der Tageszeituhr des Betriebssystems umfaßt.

3. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine zweite Station (3) die Zeitgeberstation wird und Vorrichtungen (23, 39—45) zum Erzeugen und Übertragen des Zeitgebersignals und des Zeitgeber-Tageszeitsignals umfaßt, wenn ein Zeitgeberignal nicht innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls empfangen wird.

4. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine andere von verschiedenen Stationen (3) die Zeitgeberstation wird und Vorrichtungen (23, 39—45) zum Erzeugen und Übertragen des Zeitgebersignals und des Zeitgeber-Tageszeitsignals umfaßt, wenn ein Zeitgeberignal nicht innerhalb einer vorgegebenen Sequenz von Zeitintervallen jeweils von den verschiedenen Stationen empfangen wird.

5. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtungen (53—59) zum Bestimmen der Stations-Referenztageszeit Vorrichtungen (57—59) zum Einstellen der Stations-Referenztageszeit auf Verzögerungen bei der Übertragung des Zeitgebersignals von der Zeitgeberstation zu dieser Station umfassen.

6. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Datenkommunikationsnetzwerk (5) die Stationen (3) in einer gegenläufigen Ringkonfigura-

tion verbindet, wobei die Netzwerkschnittstellen (15) das Zeitgebersignal und die Zeitgeber-Tageszeitsignale in den Ring mit einer vorgegebenen Zeitverzögerung weitergeben, und daß die Vorrichtungen (53-57) zum Bestimmen der Stations-Referenztageszeit die vorgegebene Zeitverzögerung für alle Netzwerkkontroller zwischen der Station und der Zeitgeberstation berücksichtigen.

7. System nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die gegenläufige Ringkonfiguration des Datenkommunikationsnetzwerks (5) Längen von Kommunikationsmedien (7, 9) zwischen Stationen besitzt, die bekannte Zeitverzögerungen bei der Übertragung des Zeitgebersignals und des Zeitgeber-Tageszeitsignals erzeugen, und daß die Vorrichtungen (53-57) zum Bestimmen der Stations-Referenzsignale die vorgegebene Zeitverzögerung für die Längen der Kommunikationsmedien (7, 9) zwischen den Stationen (3) bei der Bestimmung der Stations-Referenztageszeit berücksichtigen.

8. System nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß es Vorrichtungen zum Ändern der gegenläufigen Ringkonfiguration des Datenkommunikationsnetzwerks besitzt und daß die Vorrichtungen (53-57) zum Bestimmen des Stations-Referenzsignals Änderungen der Anzahl der Netzwerkschnittstellen (15) und der Längen der Kommunikationsmedien (7, 9) zwischen den Stationen bei der Bestimmung der Stations-Referenztageszeit berücksichtigen.

9. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die von wenigstens einem Stationsprozessor (17) gehaltene Tageszeituhr einen Softwarezähler besitzt, der von einem Zeitinterrupt mit einer niedrigeren Auflösung als die Auflösung des freilaufenden Zählers (19) indiziert wird, und eine Lesevorrichtung für die augenblickliche Tageszeit umfaßt, die die Tageszeit des Softwarezählers mit dem Verhältnis der Auflösung des freilaufenden Zählers zur Auflösung des Softwarezählers multipliziert, um ein hochaufgelöstes Produkt zu bilden, und zu diesem Produkt eine Änderung im Zählerwert des freilaufenden Zählers von dem letzten Zeitinterrupt addiert, um eine hochaufgelöste, augenblickliche Tageszeit zu erhalten.

10. System nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der freilaufende Zähler einen Modulus gleich einer Zeiteinheit in dem Softwarezähler besitzt und daß das System Vorrichtungen (19) zum Erzeugen des Zeitinterrupts zu jedem Zeitpunkt, zu dem der freilaufende Zähler überläuft, umfaßt und daß die Vorrichtungen zum Lesen der augenblicklichen Tageszeit den Zählerwert des freilaufenden Zählers als die Änderung des Zählerwerts von dem letzten Zeitinterrupt an zu dem Produkt addieren. 55

11. System nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß sie Vorrichtungen zum Speichern eines ersten Zählwerts in dem freilaufenden Zähler, wenn der Softwarezähler von einem Zeitinterrupt indiziert wird, umfaßt und daß die Lesevorrichtungen für die augenblickliche Tageszeit die Änderung in dem Zählwert des freilaufenden Zählers durch Subtrahieren des ersten Zählwerts von einem augenblicklichen Zählwert bestimmen. 60

12. Verteiltes Verarbeitungssystem (1) mit: 65
einer Mehrzahl von Netzwerkstationen (3), die je-
weils eine Stations-Tageszeituhr und eine Net-
werkschnittstelle (15) besitzen;

einem Datenkommunikationsnetzwerk (5) mit einer gegenläufigen Ringkonfiguration (7, 9), das die Mehrzahl von Netzwerkstationen (3) über die Netzwerkschnittstellen (15) verbindet, die mit einer vorgegebenen Zeitverzögerung Daten auf dem Datenkommunikationsnetzwerk senden, empfangen und weitersenden; und

Vorrichtungen (17, 19, 21) zum Synchronisieren der Tageszeituhren in den Netzwerkstationen: gekennzeichnet durch:

gekennzeichnet daran.
Vorrichtungen (23) in einer vorgegebenen Zeitgeberstation, die ein Zeitgebersignal über das Datenkommunikationsnetzwerk durch die Netzwerkschnittstellen (15) senden;

Vorrichtungen (19) in jeder der Stationen einschließlich der Zeitgeberstation, die ein Stationssignal speichern, das mit dem Zeitpunkt, zu dem das Zeitgebersignal empfangen wurde, verbunden ist; Vorrichtungen (39, 45) in der Zeitgeberstation, die über das Datenkommunikationsnetzwerk (5) durch die Netzwerkschnittstellen (15) ein Zeitgeber-Tageszeitsignal senden, welches den Zeitpunkt angibt, zu dem die Zeitgeberstation das Zeitgebersignal empfangen hat;

Vorrichtungen (57) zum Bestimmen einer Netzwerkverzögerung für den Erhalt des Zeitgebersignals, die auf der gegenläufigen Ringkonfiguration des Datenkommunikationsnetzwerks beruht, für jede Station;

Vorrichtungen (55, 59) innerhalb jeder Station, die eine Differenz zwischen der Zeitgeber-Tageszeit und einer Station-Referenztageszeit, die aus dem Stationssignal und der Netzwerksverzögerung hergeleitet wird, berechnen; und

Vorrichtungen (61) zum Einstellen der Stationstageszeit mit Hilfe dieser Differenz.

13. System nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß sie Vorrichtungen (23) umfaßt, die Einstellungen in der gegenläufigen Ringkonfiguration des Datenkommunikationsnetzwerks durchführen, und daß die Vorrichtungen (57), die für jede Station eine Netzwerkverzögerung bestimmen, diese Einstellungen in der gegenläufigen Ringkonfiguration (7, 9) des Datenkommunikationsnetzwerks (5) berücksichtigen.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

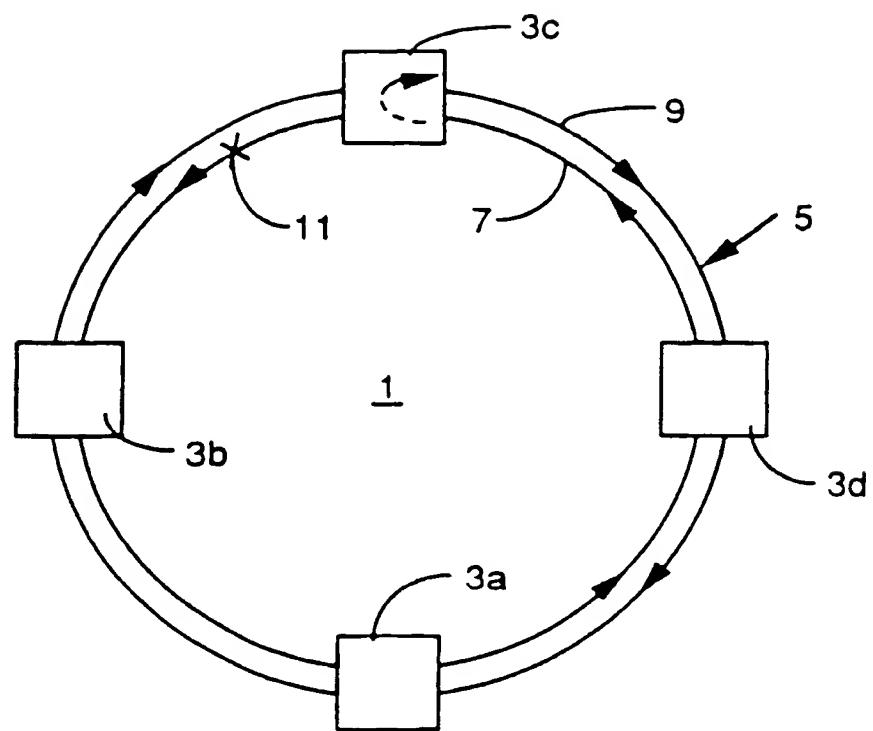


FIG. 1 *

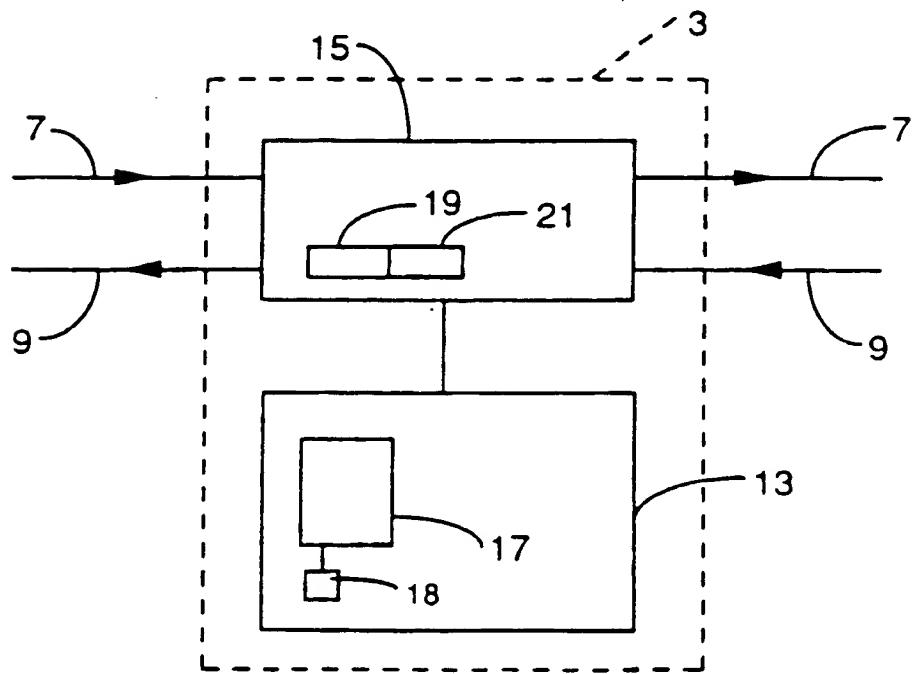


FIG. 2

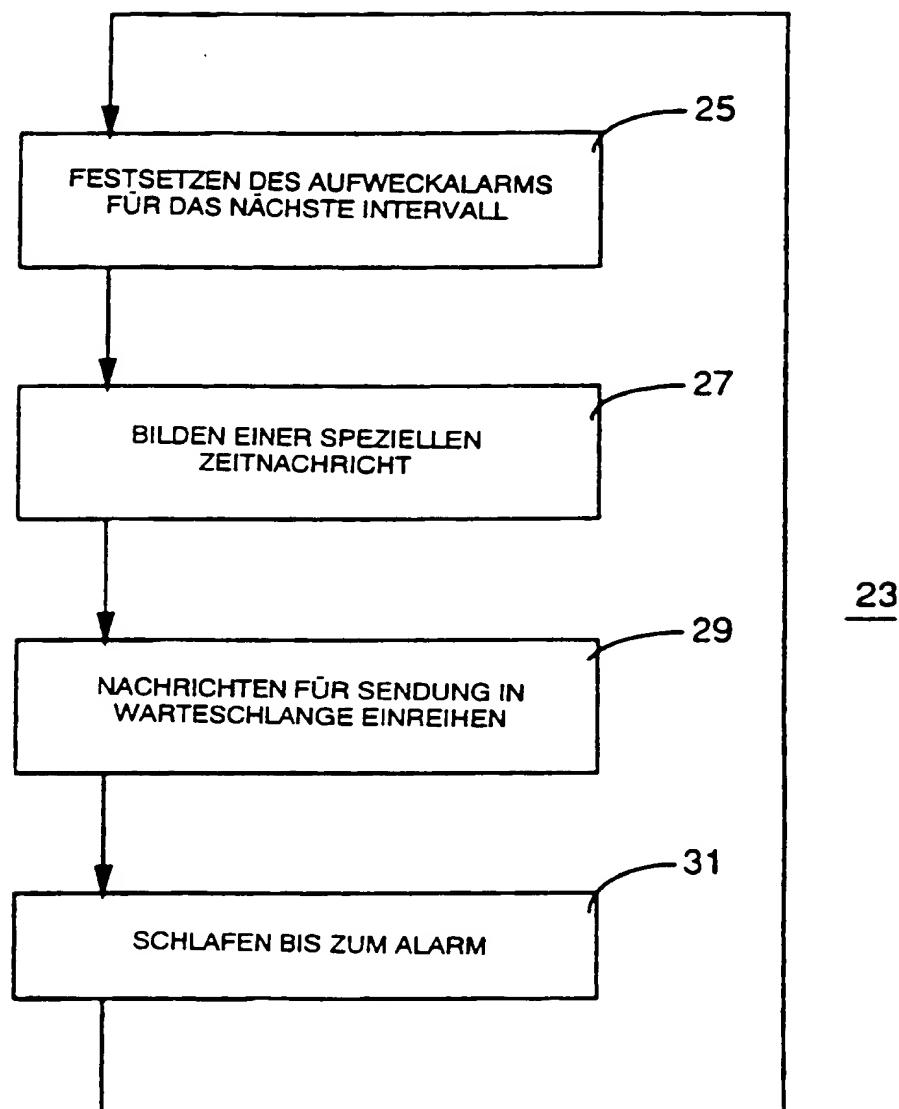


FIG. 3

(AUFRUF BEI ERHALT DER ZEITNACHRICHT)

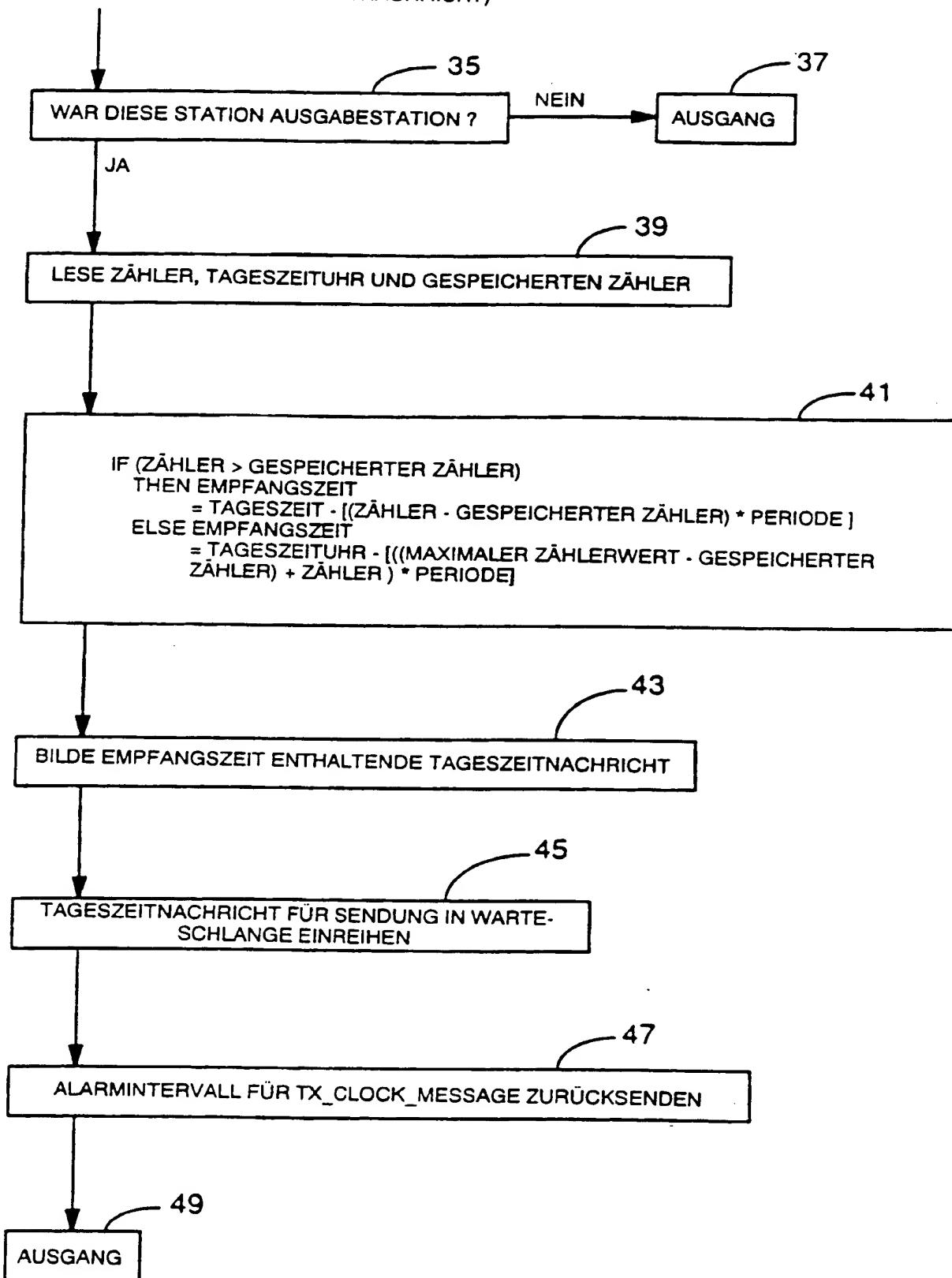


FIG. 4

(AUFRUF BEI EMPFANG DER TAGESZEITNACHRICHT)

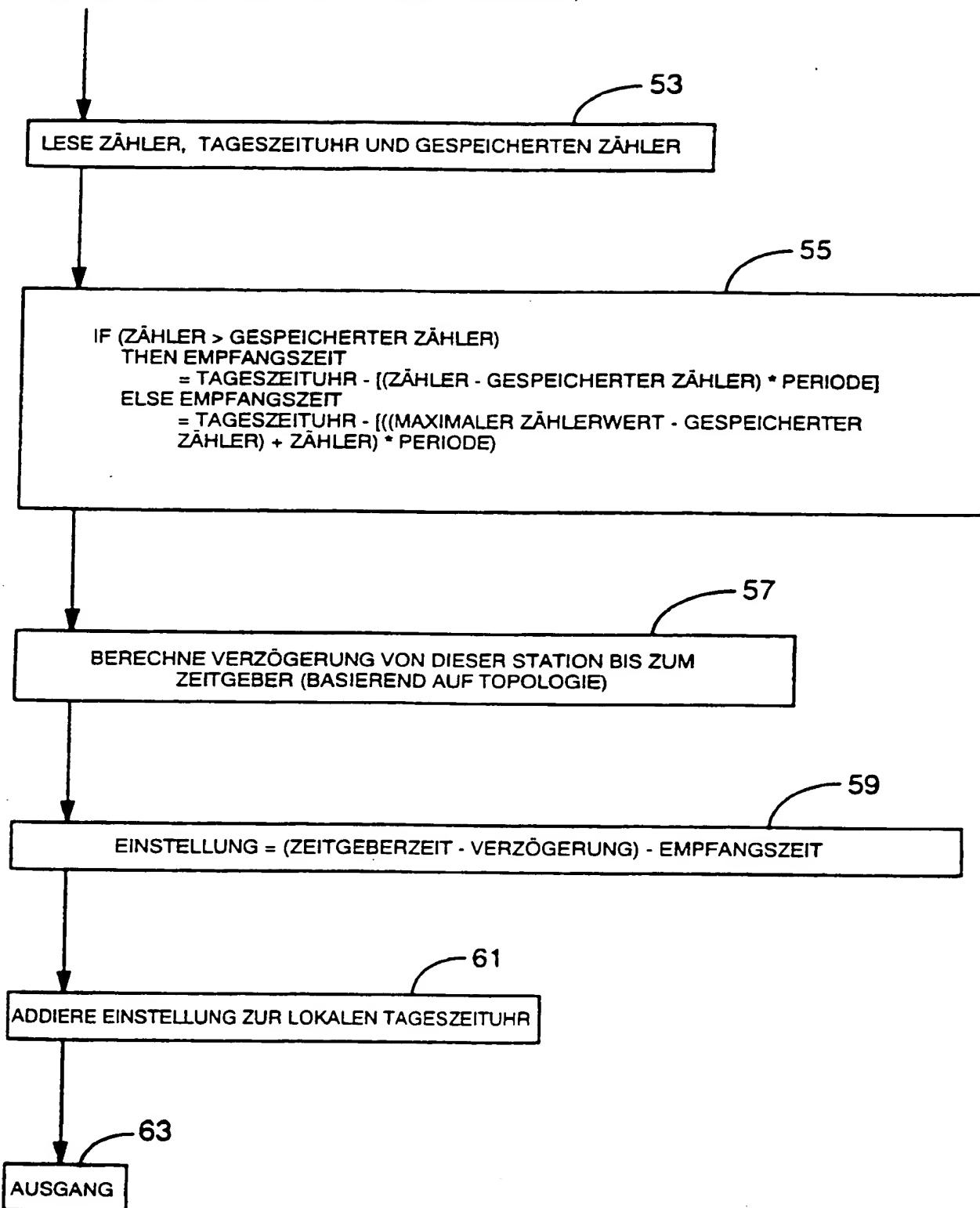


FIG. 5

